УДК 621.312

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СКОЛЬЗЯЩИХ КОНТАКТОВ КОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИН ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

С.И. Качин, Ю.С. Боровиков, М.А. Нечаев

Томский политехнический университет
E-mail: borovikov@tpu.ru

Рассмотрены вопросы разработки программно-аппаратного диагностического комплекса для оценки механического состояния скользящих контактов электродвигателей. Показано, что автоматизация процесса измерения и применение цифровых методов обработки информации позволяет повысить точность измерения путем устранения систематических погрешностей процесса измерения.

Механическое состояние рабочих поверхностей коллекторов и контактных колец является одним из важнейших интегральных показателей, характеризующих качество электрических машин, их отдельных узлов и деталей. При нарушениях профилей коллекторов в виде выступания и западания отдельных пластин или их групп, отклонениях рабочих поверхностей коллекторов и контактных колец от цилиндрической формы, некачественной балансировке роторов, несовершенстве подшипников и подшипниковых щитов повышается уровень искрения щеток, снижается надежность электрических машин в целом [1].

На электромашиностроительных предприятиях всего мира большое внимание уделяется контролю качества рабочей поверхности коллекторов и контактных колец, который проводится неоднократно и на различных этапах производства. Однако, как показывает практика, этот контроль не всегда оказывается эффективным, поскольку он выполняется лишь в статическом режиме с помощью миниметрических головок и не учитывает всей совокупности центробежных, вибрационных и температурных нагрузок, действующих на коллектор в работающей машине. Поэтому в последнее время как предприятия-изготовители коллекторных электрических машин, так и эксплуатирующие их организации все в большей степени сталкиваются с необходимостью контроля поверхности коллекторов и контактных колец при разработке, производстве электрических машин, их эксплуатации и ремонте, как в статических, так и в динамических режимах.



Рис. 1. Общий вид диагностической системы

Для решения задач экспериментальных профилометрических исследований коллекторов и контактных колец, а также регистрации линейных микроперемещений щеток электрических машин в колодцах щеткодержателей в процессе эксплуатации разработана диагностическая система, общий вид и функциональная схема которой представлены на рис. 1, 2 [2, 3].

Основными аппаратными частями системы являются:

– аналоговая часть;
– датчик синхронизации;
– контроллер;
– IBM-совместимый персональный компьютер (ПК).

В качестве измерительного датчика используется датчик вихретокового типа. Локальность контроля датчика определяется зоной концентрации поля, которая может изменяться тем или иным способом в зависимости от конкретных задач [4]. Аналоговый преобразователь формирует на выходе напряжение, пропорциональное измеряемому датчиком расстоянию.

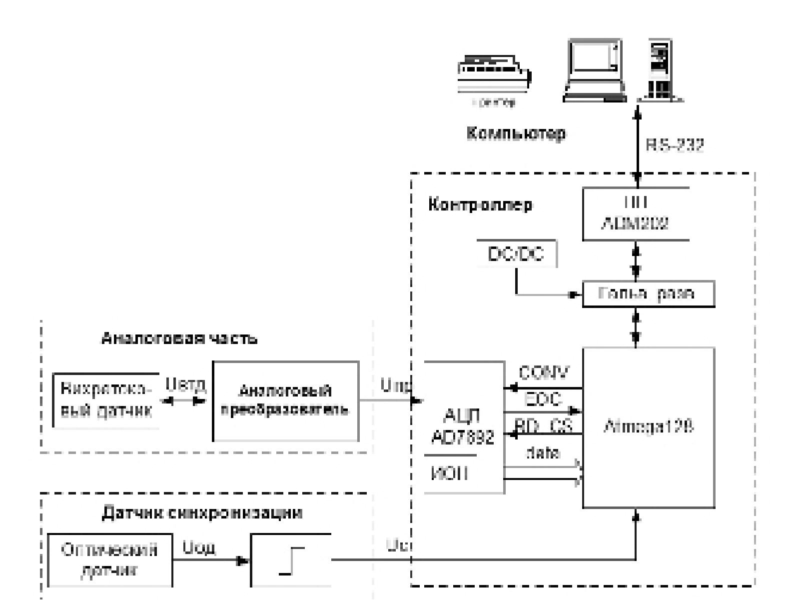


Рис. 2. Функциональная схема

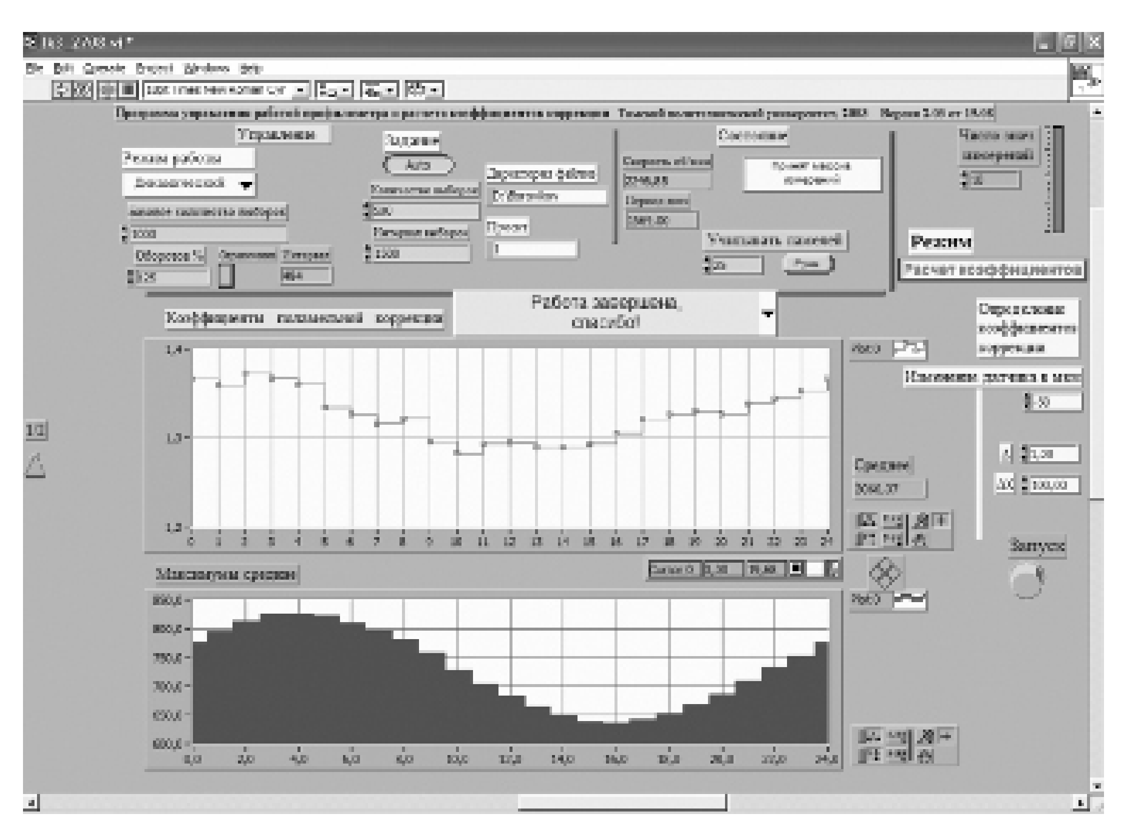


Рис. 3. Интерфейс пользователя

Контроллер предназначен для оцифровки сигнала аналоговой части и передачи результатов измерений в персональный компьютер. Основными элементами контроллера являются микроконтроллер Atmega128-16AI, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) AD7892 и схема приемо-передатчика интерфейса RS-232.

Выбор АЦП типа Analog Devices AD7892 вызван тем, что данный преобразователь имеет встроенный источник опорного напряжения (ИОН) с достаточной для устройства стабильностью. Разрядность АЦП позволяет гарантировать точность преобразования 0,00244 диск/В или 0,244 диск/мкм. Максимальная частота преобразования АЦП – 500 кГц.

Микроконтроллер Atmega128-16AI помимо внутрисхемно-программируемой Flash-памяти объемом 128 кб, имеет на кристалле ОЗУ объемом 4 кб. Такого объема достаточно для временного хранения не менее 1500 выборок АЦП, а значит, не требуется установки дополнительной микросхемы ОЗУ. Кроме того, оказалось удобным использование 16-разрядного счетчика-таймера



Рис. 4. Пример кривой изменения значений коэффициентов коррекции

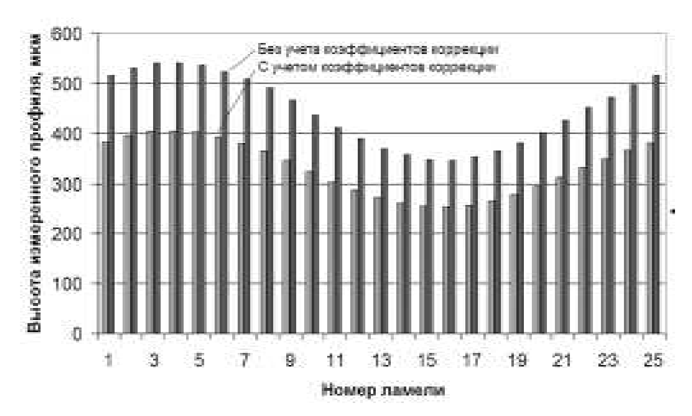


Рис. 5. Пример изменения профиля коллектора с учетом и без учета коэффициентов коррекции

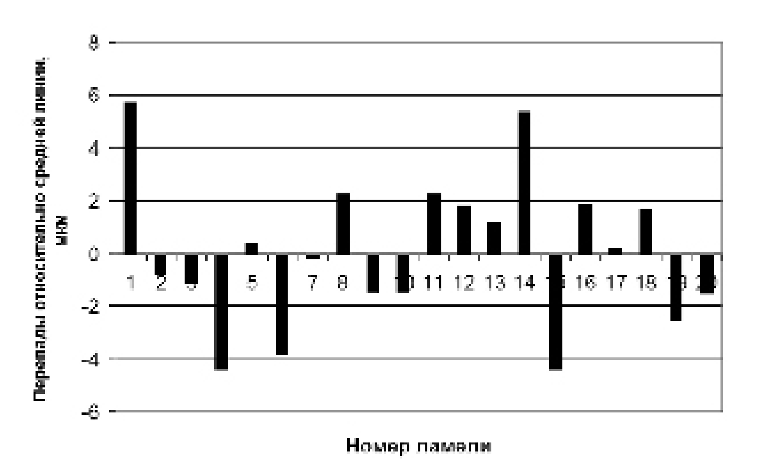


Рис. 6. Пример изменения значений перепадов между ламелями вдоль окружности коллектора

в режиме Fast-PWM для формирования периодического сигнала запуска АЦП на преобразование. Это в сочетании с быстродействующей RISC-архитектурой обеспечило максимальную частоту измерений не менее 440 кГц. Микроконтроллер имеет встроенный универсальный синхронно-асинхронный приемо-передатчик (USART). Программирование контроллера осуществлялось на языке Assembler в среде AVR-Studio.

Схема приемо-передатчика представляет собой гальванически развязанный преобразователь уровней ТТЛ/RS-232. Гальваническая развязка выполнена на оптронах и преобразователе напряжения типа DC/DC.

ПК предназначен для управления работой контроллера, приема результатов измерений и их математической обработки. Обменивается персональный компьютер с контроллером по стандартному последовательному интерфейсу RS-232 через встроенный порт.

Измерения начинаются по фронту датчика синхронизации, что позволяет синхронизировать все серии измерений с заданным положением коллектора. Помимо точки начала отсчета на коллекторе сигнал синхронизации дает возможность измерения скорости его вращения.

Управление взаимодействием персонального компьютера и контроллера производится с помощью программы, разработанной в среде графического программирования LabView 5.0. Пример интерфейса пользователя (панель

управления диагностической программой) представлен на рис. 3.

Блок «Управление» позволяет пользователю выбрать один из двух основных режимов работы контроллера: статический или динамический. Контроллеру от системы верхнего уровня задается период между измерениями и количество измерений. Высокая частота преобразования аналогового сигнала не позволяет передавать результаты измерений в режиме реального времени, поэтому серию измерений контроллер выполняет автономно, сохраняя результаты в своей памяти, а затем передает в ПК весь массив измерений. В статическом режиме период измерений (выборок) сигнала датчика и количество измерений задает оператор. Сигнал синхронизации в этом режиме не используется. Режим может быть применен в случаях, когда исследуемый коллектор не вращается или вращается на малых скоростях.

Основным для контроллера является динамический режим (скорость вращения коллектора может находиться в пределах от 100 до 60000 об/мин). Здесь пользователь задает базовое количество измерений аналогового сигнала и часть оборота коллектора, которую необходимо оцифровать. Программа рассчитывает период между измерениями так, чтобы на заданную часть оборота приходилось заданное число измерений на данной скорости вращения (автоматическая развертка сигнала).

Блок «Состояние» позволяет регистрировать скорость вращения коллектора, измеряемую контроллером по датчику синхронизации. Также он содержит окно, позволяющее контролировать корректность взаимодействия ПК и контроллера.

Предусмотрено сохранение данных в указанной пользователем директории для последующей обработки и архивации.

Несомненным преимуществом разработанной диагностической системы является реализация в ее программном обеспечении методики базовой коррекции, позволяющей устранить ряд погрешностей измерений. В блоке «Режим» предусмотрен режим расчета коэффициентов поламельной базовой коррекции и режим измерения с учетом ранее рассчитанных коэффициентов.

После каждого испытания измеренный профиль коллектора и график изменения коэффициентов базовой коррекции отображаются на экране виртуального осциллографа, расположенного на мониторе компьютера.

Основными причинами возникновения погрешностей на выходе аналоговой части прибора являются температурная погрешность, погрешности вследствие различий удельного сопротивления поверхностного слоя коллекторных пластин и линейной скорости перемещения контролируемой поверхности относительно датчика, а также погрешность, связанная с неидентичностью установки датчика в процессе тарирования и в процессе измерения на реальном объекте [5, 6].

Задача устранения влияния этих погрешностей может быть в значительной мере решена путем коррекции коэффициента передачи измерительного тракта прибора в процессе измерения расстояния до произвольно взятой ламели в соответствии с методом базовой коррекции результатов измерений [6].

На рис. 4 приведена кривая изменения коэффициентов коррекции в зависимости от номера ламели одного из типов коллекторов при частоте вращения 6400 об/мин, а на рис. 5 проиллюстрированы кривые изменения профиля коллектора с учетом и без учета корректирующих коэффициентов при той же частоте вращения.

Из рис. 5 видно, что помимо корректировки общего уровня выходного сигнала, обусловленной скоростью вращения коллектора и другими возмущающими факторами, произведена и поламельная коррекция, позволяющая исключить индивидуальные погрешности, вызванные неодинаковыми удельными электрическими сопротивлениями поверхностей ламелей и неточностью ориентации датчика относительно каждой из ламелей.

При отсутствии резонансных явлений в коллекторно-щеточном узле наблюдается хорошая повторяемость изменений профиля коллектора на различных частотах. При этом истинные уровни ламелей относительно средней линии профиля коллектора и перепады между ламелями можно получать, производя вычитание из измеренного профиля лишь первой его гармонической составляющей (рис. 6).

Наличие резонанса в системе коллекторно-щеточного узла требует достаточно сложного математического аппарата для обработки измеренного сигнала с целью определения истинного профиля коллектора либо применения измерительной системы двухканального типа [5, 7, 8].

Таким образом, обработка данных в цифровом виде (в том числе непосредственно в процессе измерений), а также метод базовой коррекции полученных данных в сочетании со способами выделения истинных значений перепадов между коллекторными пластинами обеспечивают получение информации о состоянии профиля коллектора с достаточно высокой степенью точности в статическом и динамическом режимах работы электрической машины или испытательной установки.

Работа выполнена в соответствии с грантом Министерства образования РФ 7.14С/2003 (шифр ТО2-01.5-697).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолин Н.П., Жерихин И.Л. Надежность электрических машин. – Л.: Энергия, 1976. – 248 с.
2. Borovikov Yu.S. Diagnostic system for the estimation of the collector and brush units mechanical state under static and dynamic operating conditions // Modern Technique and Technologies: The VIII Intern. Scientific and Practical Conf. of Students, Post graduates and Young Scientists. – Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2002. – P. 104.
3. Качин С.И., Боровиков Ю.С., Нечаев М.А., Меркулов С.В. Автоматизированный диагностический комплекс для оценки механического состояния коллекторно-щеточных узлов в статических и динамических режимах // Измерение, контроль, информатизация: Матер. IV Междунар. научно-практ. конф. – Барнаул: АГТУ, 2003. – С. 98–103.
4. Герасимов В.Г. и др. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. – М.: Энергия, 1983. – 272 с.
5. Харламов В.В. Совершенствование методов и средств

диагностирования технического состояния коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей подвижного состава. Автореферат дис. … докт. техн. наук. – Омск: ОмГУПС, 2002. – 43 с.

6. Качин С.И. Высокоиспользованные коллекторные электрические машины малой мощности. Дис. … докт. техн. наук. – Томск: ТПУ, 2002. – 438 с.
7. Козлов А.А., Скороспешкин А.И. Динамический контроль профиля коллекторов электрических машин // Электротехника. – 1977. –№ 7. – С. 36–39.
8. Стрельбицкий Э.К., Стукач В.С., Цирулик А.Я. Статистическая обработка профилограмм коллектора машин постоянного тока // Известия Томского политехнического института. – 1966. – Т. 160. – С. 102–105.

УДК 681.32